

Notas acerca de la precipitación diaria en cuatro capitales catalanas

M^a del Carmen MORENO GARCÍA
Universitat de Barcelona

El estudio de la precipitación se ha centrado sobre todo, hasta hace poco tiempo, en el análisis de su frecuencia a nivel anual y mensual. Actualmente, sin embargo, cada vez tiene más importancia el análisis de la precipitación a nivel diario. El análisis climatológico no puede contentarse ya con un simple cálculo de medias anuales y mensuales, sino que debe orientarse hacia la predicción o previsión climática fina, lo que obliga a emplear el cálculo de probabilidades sobre datos diarios. La aplicación de estas nuevas técnicas de estadística inferencial ha supuesto un paso decisivo en el tratamiento y aprovechamiento de los datos climáticos.

El análisis probabilístico diario constituye, además, el modo más adecuado de estudiar un elemento tan variable como la precipitación, en un medio tan singular, también, como es el mediterráneo. Por esta razón, en el presente trabajo se aborda un análisis de este tipo, aplicado, además, sobre áreas urbanas de Catalunya, lo que le confiere también un interés añadido, si bien hay que hacer notar que en los objetivos de este trabajo no tiene cabida la referencia a la modificación urbana de la precipitación. El objetivo del trabajo tiene como meta el conseguir un conocimiento más amplio y preciso sobre el comportamiento de la precipitación diaria en las cuatro capitales catalanas, mediante el análisis de dos aspectos concretos: la irregularidad, o ausencia de equidistribución, y la probabilidad y probabilidad condicionada.

Los datos diarios de precipitación utilizados corresponden a los de los observatorios meteorológicos de primer orden de Barcelona, Tarragona, Girona y Lleida, dependientes del I.N.M. y situados en las respectivas áreas urbanas. El período empleado ha sido el de 1970-85, salvo en el caso de Girona, que es de 1970-77, pues en esa fecha el observatorio

principal abandona la ciudad y se traslada al aeropuerto. Hay que advertir que se trata de datos diarios de lluvias, y no de datos anuales, por lo que el período básico de 15 años escogidos para este trabajo constituye una muestra suficientemente amplia.

La irregularidad de la precipitación diaria

El número de días en que se registra precipitación poco cuantiosa suele ser superior al número de días con precipitación elevada. Es por esta razón por lo que las distribuciones de frecuencias de las cantidades diarias de precipitación son generalmente ajustables mediante distribuciones exponenciales negativas (BROOKS Y CARRUTHERS, 1953).

En este trabajo se efectúa el cálculo de los porcentajes que sobre los totales pluviométricos aporta cada una de las clases en que se han dividido las cantidades diarias de precipitación, obteniendo unas distribuciones exponenciales, esta vez positivas, que ajustan los porcentajes acumulados de precipitación aportados por los correspondientes porcentajes acumulados del número de días de precipitación. Estas nuevas distribuciones, que constituyen un caso perfeccionado de las curvas de concentración o de Lorenz, servirán para comprobar la irregularidad, o ausencia de equidistribución, de la precipitación diaria, tal como se ha demostrado en diversos trabajos (GUILLÓ Y PUIGSERVER, 1970; MARTÍN VIDE, 1984 y 1987).

Por regularidad perfecta o equidistribución de la precipitación diaria se entiende el estado teórico en el que cada clase, de la misma longitud, en que se han de dividir las cantidades y clasificar los días de precipitación, aporte la misma cantidad, o el mismo porcentaje respecto a la precipitación total. En función de la mayor o menor separación de este estado, pues, se habla entonces de mayor o menor irregularidad, respectivamente.

Se han contabilizado, para Barcelona, Tarragona, Girona y Lleida, los números de días con precipitaciones, en mm, comprendidas en las clases (0,1-0,9), (1,0-1,9), ..., (i, i+0,9), ... o frecuencias absolutas del correspondiente período. A partir de esto se calcularon las frecuencias absolutas acumuladas anuales de cada clase (Σn_i) y las cantidades absolutas acumuladas de ellas (ΣP_i), calculadas a partir de sus marcas ($\Sigma P_i = \Sigma (n_i \cdot \bar{X})$, siendo \bar{X} las marcas). Los resultados del caso de Girona se han representado gráficamente mediante la curva de la figura 1, que relaciona los números acumulados de días de precipitación en tantos por ciento, respecto al total de días de precipitación $\Sigma n_i(\%)$ (en el eje de abscisas), con las cantidades acumuladas de los días de precipitación en tantos por ciento, respecto a la cantidad total $\Sigma P_i(\%)$ (en el eje de ordenadas). La bisectriz del cuadrante se correspondería con la curva de un lugar con regularidad perfecta o equidistribución. Así, cuanto más alejada esté la curva representada de la bisectriz, mayor irregularidad. Por otra parte, en el cuadro 1 se detallan los resultados en el caso de Lleida.

Al comparar las curvas obtenidas de los cuatro casos analizados, no se observan grandes diferencias entre ellas, aunque se alejan de la mencionada bisectriz, denotando, de este modo, que las cuatro capitales catalanas muestran una notable irregularidad de la precipitación diaria. Ello puede ser debido, por una parte, al relativo alejamiento de los flujos atlánticos templados, que son los que actúan regularmente en cuanto a las cantidades de lluvia diaria a que dan lugar, y, por otra, a la manifiesta influencia mediterránea, causante de fuertes diferencias pluviométricas.

La manifiesta irregularidad de la precipitación diaria en Barcelona, Tarragona, Girona y Lleida queda reflejada también en el cuadro 2, donde se recogen las cantidades de precipitación acumulada (en %) aportadas por el 10%, 25%, 50% y 70% de los días más lluviosos. Nótese que solamente el 10% de los días más lluviosos aporta hasta la mitad de la cantidad total de precipitación acumulada en el caso de Lleida, quedando los valores correspondientes a Barcelona, Girona y Tarragona, muy próximos a la mitad también. Asimismo se ha comprobado que en ningún caso la aportación relativa resulta excesivamente influida por la estación del año, aunque se ha observado una mayor irregularidad durante el verano. Esto viene a reforzar lo de que es la influencia atlántica templada la que causa regularidad en la pluviometría diaria, ya que dicha influencia, teniendo en cuenta los mecanismos de la circulación general de la atmósfera, se produce, sobre todo, durante el invierno.

La probabilidad y la probabilidad condicionada de la precipitación diaria

La elevada variabilidad que presenta la precipitación en el ámbito mediterráneo da poca representatividad a sus valores medios. En la actualidad, como es bien sabido, el objetivo fundamental del análisis climatológico se centra en la predicción, y ésta sólo puede realizarse en términos de probabilidad. Es por ello por lo que el conocimiento de los valores de la probabilidad de aparición de precipitación en un día tiene un notable interés, de cara a la previsión de diversas actividades humanas de tipo agrícola, industrial, comercial, turístico, etc.

Se ha tomado como base el número de días con precipitación apreciable o frecuencia diaria, para calcular las probabilidades mensuales y anuales de día con precipitación y de día sin precipitación. Para ello se utiliza el modelo estocástico de la cadena de Markov de dos estados. En primer lugar se han contabilizado por meses las transiciones de día seco (día sin precipitación o con precipitación inapreciable) a día seco, abreviadamente 0/0, de día seco a día lluvioso (día con precipitación apreciable), 0/1, de día lluvioso a día seco, 1/0, y de día lluvioso a día lluvioso, 1/1, de cada una de las ciudades. La transición que une el último día de un mes con el primero del siguiente se ha contabilizado en este último. A continuación, se ha calculado la matriz de transición, A:

$$A = \begin{pmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{pmatrix},$$

o matriz de los valores de las probabilidades empíricas de las cuatro transiciones (p_{00} , probabilidad de día seco después de día seco; p_{01} , probabilidad de día lluvioso después de día seco; p_{10} , probabilidad de día seco después de día lluvioso; y p_{11} , probabilidad de día lluvioso después de día lluvioso). Por un elemental cálculo de probabilidades, se pueden obtener mediante las fórmulas:

$$p_{00} = \frac{0/0}{0/0 + 0/1}, \quad p_{01} = 1 - p_{00}, \quad p_{10} = \frac{1/0}{1/0 + 1/1} \quad \text{y} \quad p_{11} = 1 - p_{10}$$

Seguidamente ya se pueden calcular las probabilidades de día seco y de día lluvioso mediante el modelo de Markov. Dichas probabilidades son las siguientes:

$$\pi_0 \text{ (probabilidad de día seco)} = \frac{p_{10}}{p_{01} + p_{10}} \quad \text{y}$$

$$\pi_1 \text{ (probabilidad de día lluvioso)} = \frac{p_{01}}{p_{01} + p_{10}}$$

En el cuadro 3 se presenta el ejemplo de Tarragona, donde se recogen los números de transiciones de los tipos 0/0, 0/1, 1/0 y 1/1, por meses y año, junto con los valores de p_{00} , p_{01} , p_{10} y p_{11} o elementos de la matriz de transición, además de las probabilidades esperadas, π_0 y π_1 . En el cuadro 4 se hacen constar los valores de probabilidad de día lluvioso (π_1) y probabilidad de día lluvioso después de otro día lluvioso (p_{11}), por meses y año, de cada una de las capitales catalanas.

La máxima probabilidad anual de día con precipitación se registra en Girona, donde el 24,46% de los días reciben precipitación apreciable, siguiéndole Lleida, con el 21,39%. La mínima se da en Tarragona, donde en sólo 17,17 días de cada 100 se registra precipitación apreciable. La aparente anomalía de que Lleida supere a Barcelona (19,99%) se debe, además de las características del período analizado, al hecho de que en la capital del Segrià se han debido contabilizar como días con precipitación un número considerable de días en los que las intensas nieblas invernales de irradiación han dejado algunas décimas de milímetro en el pluviómetro (*boires ploraneres*). Esto puede deducirse del alto número de días con una cantidad de precipitación comprendida entre 0,1 y 0,9 mm en Lleida, con respecto a Barcelona: 480 días frente a 353, y en la elevada probabilidad de día con precipitación en diciembre y enero en la capital del Segrià (véase cuadro 4).

Ninguna de las capitales catalanas rebasa el 0,25 como probabilidad anual de día con precipitación por lo que se puede afirmar que de cada 100 días, al menos 75 de ellos no registrarán precipitación (apreciable).

Los valores anuales de la probabilidad de día con precipitación después de día con precipitación (p_{11}) que se han obtenido revelan una clara persistencia de los días lluviosos, ya que la probabilidad de que llueva un día es más elevada si el día anterior fue también lluvioso, que si fue seco. En Girona la probabilidad anual de que llueva un día es de 0,2446, pero ésta se eleva a 0,4406, si el día precedente fue seco. Es decir, que el 44,06% de los días lluviosos continúan con otro día lluvioso, mientras que sólo un 18,12% de los días secos continúan con uno lluvioso.

También se han representado gráficamente los ritmos mensuales tanto de la probabilidad de día con precipitación (π_1), como de la probabilidad de día con precipitación después de día con precipitación (p_{11}) (figura 2). En relación con la probabilidad de día con precipitación (π_1), en todos los casos, el mes que presenta menos días lluviosos es julio y el máximo se registra en primavera, en el mes de mayo, salvo en Lleida, que presenta un máximo invernal (en enero), fruto, sin duda, de su posición geográfica, que la hace recibir con una mayor nitidez la influencia de los flujos atlánticos, en contraste con la po-

sición litoral de las demás, y, sobre todo, de las referidas *boires ploraneres*. El máximo valor mensual de π_1 de los cuatro casos se da en Girona en el mes de mayo (0,3251). Aquí, la probabilidad de aparición de un día lluvioso es superior al 26,5% (casi dos días de cada cuatro) de marzo a junio, inclusivos. El valor mensual más bajo corresponde a Tarragona (0,0920) en el mes de julio.

En cuanto a los valores de p_{11} , o probabilidad de día con precipitación después de día con precipitación, hay que señalar que los mínimos se producen en el mes de julio, salvo en Tarragona, que lo hace en agosto. Los máximos, que igualan o superan 0,5 en Lleida, Girona y Barcelona, se dan en diciembre en Lleida, en mayo en Girona, en febrero en Tarragona y en noviembre en Barcelona.

Conclusiones

Las cuatro capitales catalanas han mostrado una notable irregularidad de la precipitación diaria, fruto de la influencia mediterránea, que causa fuertes diferencias pluviométricas diarias, y del relativo alejamiento de los flujos atlánticos templados, que son los que causan regularidad en las cantidades diarias de lluvia.

El 10% de los días con cantidad de precipitación, más elevada aporta el 50% de la precipitación total en Lleida, el 48% en Girona y Tarragona y el 46% en Barcelona.

La probabilidad anual de día con precipitación oscila entre 0,2446 en Girona y 0,1717 en Tarragona. Por meses, mayo es el que posee un valor más alto de la probabilidad de día con precipitación en Girona, Barcelona y Tarragona y enero en Lleida, mientras que julio es el que, en las cuatro ciudades, presenta un valor más bajo.

La probabilidad anual de día con precipitación después de día con precipitación oscila entre 0,4406 en Girona y 0,3830 en Tarragona. Los valores más altos por meses igualan o rebasan 0,5 en Lleida, Girona y Barcelona. Los valores más bajos se dan en julio y agosto.

Bibliografía

- BROOKS, C.E.P. y CARRUTHERS, N. (1953): *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*, Londres, Meteorological Office.
- GUILLÓ, A.M. y PUIGCERVER, M. (1970): «Sobre las contribuciones relativas de las precipitaciones local y generalizada a la precipitación total en Cataluña», en *Revista de Geofísica*, XXIX, 3, pp. 205-216.
- MARTÍN VIDE, J. (1984): «Análisis de la irregularidad de la precipitación diaria en el litoral mediterráneo de la Península Ibérica», en *Revista de Geofísica*, 40(1), pp. 101-106.
- (1987): *Característiques climatològiques de la precipitació en la franja costera mediterrània de la Península Ibèrica*, Barcelona, Institut Cartogràfic de Catalunya.

Cuadro 1
Detalle del cálculo de la irregularidad de la precipitación diaria
en el caso de Lleida

Clases	n_i	Σn_i	$\Sigma n_i(\%)$	$\bar{X}_i \cdot n_i$	$\Sigma \bar{X}_i \cdot n_i$	$\Sigma \bar{X}_i \cdot n_i(\%)$
0,1-0,9	480	480	39,9	240	240	4,0
1,0-1,9	156	636	52,9	234	474	8,0
2,0-2,9	108	744	61,9	270	744	12,6
3,0-3,9	68	812	67,5	238	982	16,6
4,0-4,9	57	869	72,3	256,5	1.238,5	20,9
5,0-5,9	49	918	76,4	269,5	1.508	25,4
6,0-6,9	41	959	79,8	266,5	1.774,5	30,0
7,0-7,9	23	982	81,7	172,5	1.947	32,9
8,0-8,9	26	1.008	83,9	221	2.168	36,6
9,0-9,9	18	1.026	85,3	171	2.339	39,5
10,0-10,9	20	1.046	87,0	210	2.549	43,1
11,0-11,9	22	1.068	88,8	253	2.802	47,3
12,0-12,9	17	1.085	90,3	212,5	3.014,5	50,9
13,0-13,9	12	1.097	91,3	162	3.176,5	53,7
14,0-14,9	7	1.104	91,8	101,5	3.278	55,4
15,0-15,9	5	1.109	92,3	77,5	3.355,5	56,7
16,0-16,9	8	1.117	92,9	132	3.487,5	58,9
17,0-17,9	4	1.121	93,3	70	3.557,5	60,1
18,0-18,9	11	1.132	94,2	203,5	3.761	63,6
19,0-19,9	3	1.135	94,4	58,5	3.819,5	64,5
20,0-20,9	8	1.143	95,1	164	3.983,5	67,3
21,0-21,9	4	1.147	95,4	86	4.069,5	68,8
22,0-22,9	10	1.157	96,2	225	4.294,5	72,6
23,0-23,9	4	1.161	96,6	94	4.388,5	74,2
24,0-24,9	2	1.163	96,7	49	4.437,5	75,0
25,0-25,9	3	1.166	97,0	76,5	4.514	76,3
26,0-26,9	1	1.167	97,1	26,5	4.540,5	76,7
27,0-27,9	2	1.169	97,2	55	4.595,5	77,7
28,0-28,9	1	1.170	97,3	28,5	4.624	78,1
29,0-29,9	3	1.173	97,6	88,5	4.712,5	79,6
30,0-30,9	3	1.176	97,8	91,5	4.804	81,2
31,0-31,9	2	1.178	98,0	63	4.867	82,2
32,0-32,9	3	1.181	98,2	97,5	4.964,5	83,9
33,0-33,9	2	1.183	98,4	67	5.031,5	85,0
34,0-34,9	2	1.185	98,6	69	5.100,5	86,2
35,0-35,9	0	1.185	98,6	0	5.100,5	86,2
36,0-36,9	3	1.188	98,8	109,5	5.210	88,0
37,0-37,9	0	1.188	98,8	0	5.210	88,0
38,0-38,9	0	1.188	98,8	0	5.210	88,0
39,0-39,9	1	1.189	98,9	39,5	5.249,5	88,7
40,0-40,9	0	1.189	98,9	0	5.249,5	88,7
41,0-41,9	2	1.191	99,1	83	5.332,5	90,1

Clases	n_i	Σn_i	$\Sigma n_i(\%)$	$\bar{X}_i \cdot n_i$	$\Sigma \bar{X}_i \cdot n_i$	$\Sigma \bar{X}_i \cdot n_i(\%)$
42,0-42,9	1	1.192	99,2	42,5	5.375	90,8
43,0-43,9	2	1.194	99,3	87	5.462	92,3
44,0-44,9	1	1.195	99,4	44,5	5.506,5	93,1
45,0-45,9	0	1.195	99,4	0	5.506,5	93,1
46,0-46,9	0	1.195	99,4	0	5.506,5	93,1
47,0-47,9	1	1.196	99,5	47,5	5.554	93,9
48,0-48,9	0	1.196	99,5	0	5.554	93,9
49,0-49,9	1	1.197	99,6	49,5	5.603,5	94,7
50,0-50,9	1	1.198	99,7	50,5	5.654	95,5
51,0-51,9	0	1.198	99,7	0	5.654	95,5
52,0-52,9	1	1.199	99,7	52,5	5.706,5	96,4
57,0-57,9	1	1.200	99,8	57,5	5.764	97,4
72,0-72,9	1	1.201	99,9	72,5	5.836,5	98,6
80,0-80,9	1	1.202	100	80,5	5.917	100

Cuadro 2
Cantidades de precipitación acumulada (en %) aportada por el
10%, 25%, 50% y 70% de los días más lluviosos correspondientes
a las cuatro capitales catalanas

	10%	25%	50%	70%
Barcelona	46	72	93	98
Girona	48	74	92	98
Tarragona	48	76	93	96
Lleida	50	75	92	97

Cuadro 3

Número de transiciones y valores de las probabilidades condicionadas y de día sin precipitación y con precipitación en el caso de Tarragona

	0/0	0/1	1/1	1/0	P_{00}	P_{01}	P_{10}	P_{11}	π_0	π_1
Enero	346	49	33	51	0,8759	0,1241	0,6071	0,3929	0,8302	0,1697
Febrero	315	42	34	41	0,8823	0,1177	0,5466	0,4534	0,8228	0,1771
Marzo	359	53	31	53	0,8713	0,1287	0,6309	0,3691	0,8305	0,1694
Abril	325	59	38	57	0,8463	0,1537	0,6000	0,4000	0,7960	0,2039
Mayo	305	73	44	75	0,8068	0,1932	0,6302	0,3698	0,7653	0,2346
Junio	336	58	27	59	0,8527	0,1473	0,6860	0,3140	0,8232	0,1767
Julio	419	30	16	31	0,9331	0,0669	0,6595	0,3405	0,9079	0,0920
Agosto	368	53	23	52	0,8741	0,1259	0,6933	0,3067	0,8463	0,1536
Septiembre	356	47	30	47	0,8833	0,1167	0,6103	0,3897	0,8394	0,1605
Octubre	354	51	37	53	0,8740	0,1260	0,5888	0,4112	0,8237	0,1762
Noviembre	357	50	28	46	0,8771	0,1229	0,6219	0,3784	0,8349	0,1650
Diciembre	356	50	40	49	0,8768	0,1232	0,5505	0,4495	0,8171	0,1828
Anual	4.196	615	381	614	0,8721	0,1279	0,6170	0,3830	0,8282	0,1717

Cuadro 4

Valores de la probabilidad del día con precipitación (π_1) y probabilidad de día con precipitación después de día con precipitación (p_{11}) en las cuatro capitales catalanas

	Barcelona		Tarragona		Girona		Lleida	
	P_{11}	π_1	P_{11}	π_1	P_{11}	π_1	P_{11}	π_1
Enero	0,4812	0,2164	0,3929	0,1697	0,3256	0,1895	0,4699	0,3224
Febrero	0,3864	0,2083	0,4534	0,1771	0,4167	0,1878	0,4302	0,2027
Marzo	0,3905	0,2285	0,3691	0,1694	0,4478	0,2858	0,4106	0,1974
Abril	0,3840	0,2312	0,4000	0,2039	0,5000	0,3135	0,5046	0,2377
Mayo	0,4342	0,2601	0,3698	0,2346	0,5122	0,3251	0,4593	0,2904
Junio	0,4231	0,2167	0,3140	0,1767	0,4063	0,2655	0,3620	0,2262
Julio	0,1633	0,0926	0,3405	0,0920	0,2979	0,1895	0,2500	0,1148
Agosto	0,2717	0,1679	0,3067	0,1536	0,4118	0,2692	0,2687	0,1332
Septiembre	0,3659	0,1705	0,3897	0,1605	0,5000	0,2448	0,3667	0,1363
Octubre	0,3905	0,2091	0,4112	0,1762	0,4075	0,2298	0,4000	0,1780
Noviembre	0,5000	0,2058	0,3784	0,1650	0,4566	0,2031	0,5149	0,2423
Diciembre	0,4330	0,1984	0,4495	0,1828	0,5099	0,2204	0,5802	0,2926
Anual	0,3985	0,1999	0,3830	0,1717	0,4406	0,2446	0,4392	0,2139

Figura 1
Curva exponencial correspondiente al caso de Girona

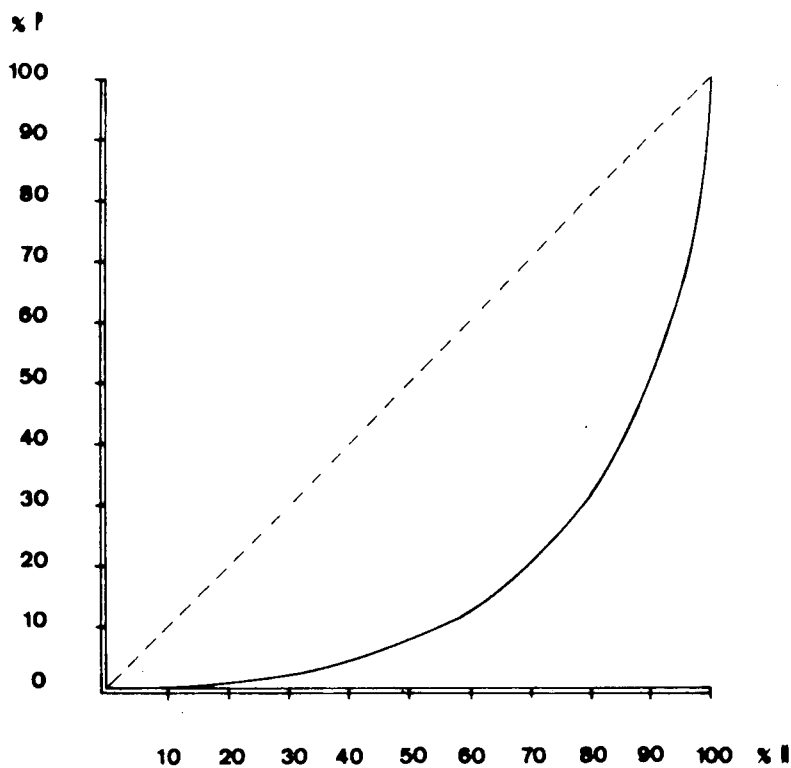
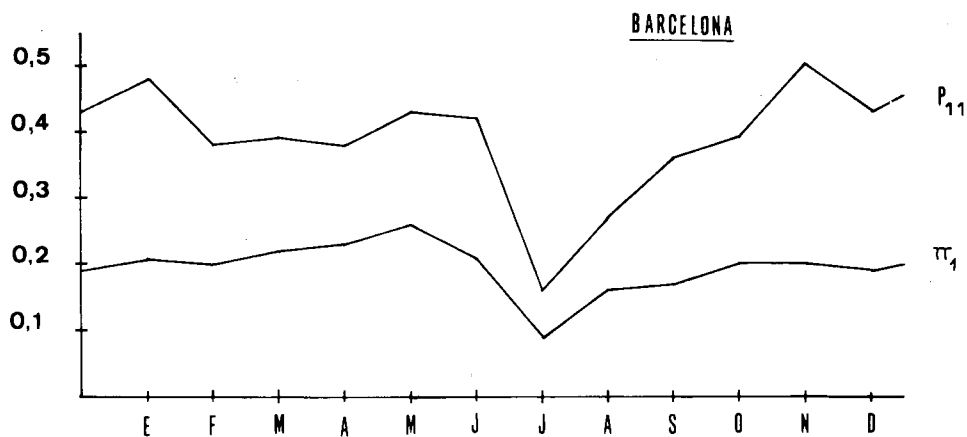
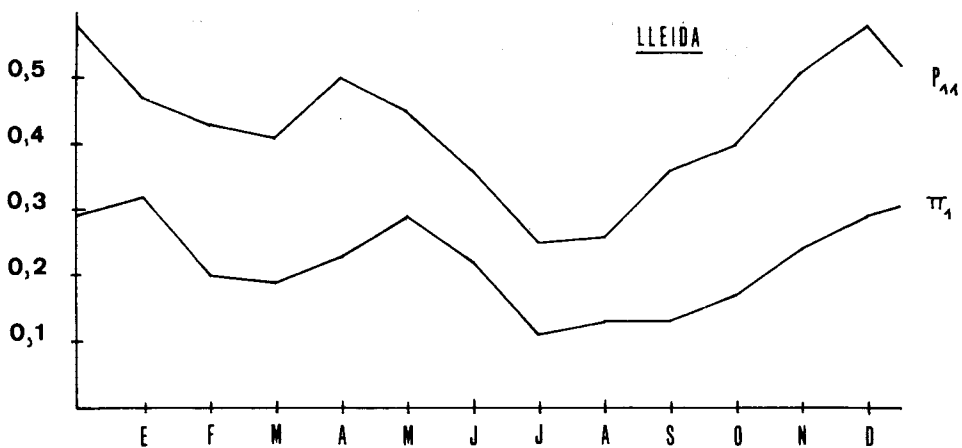
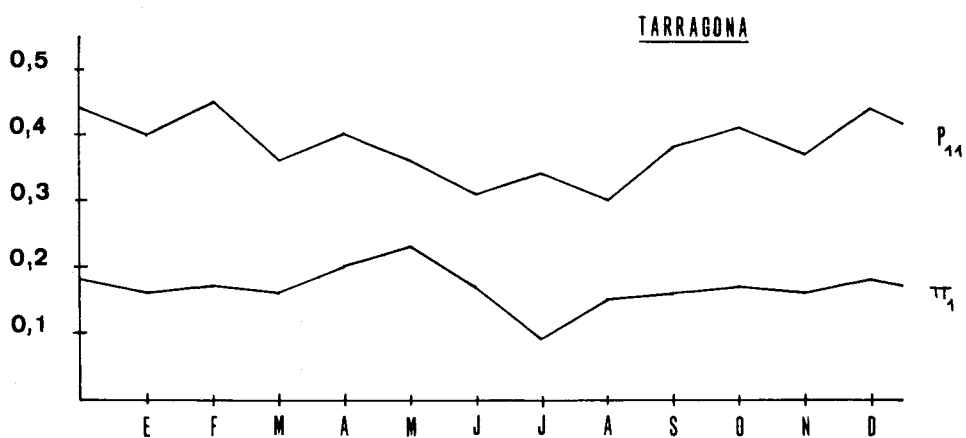
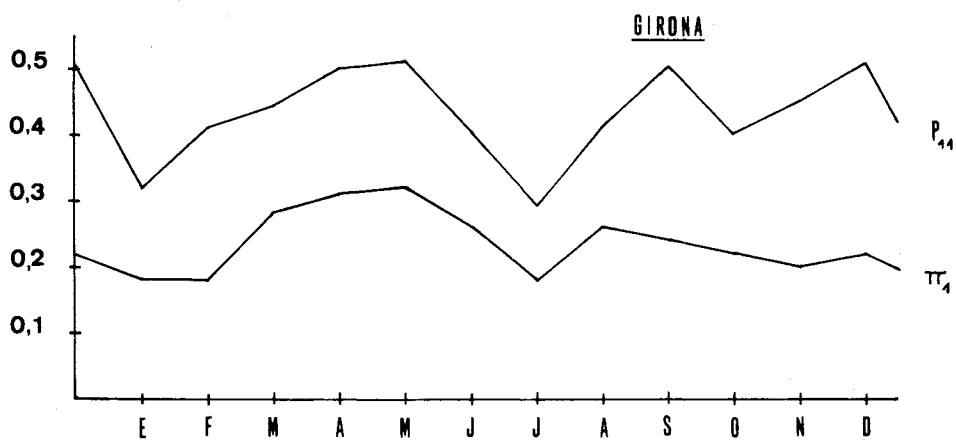
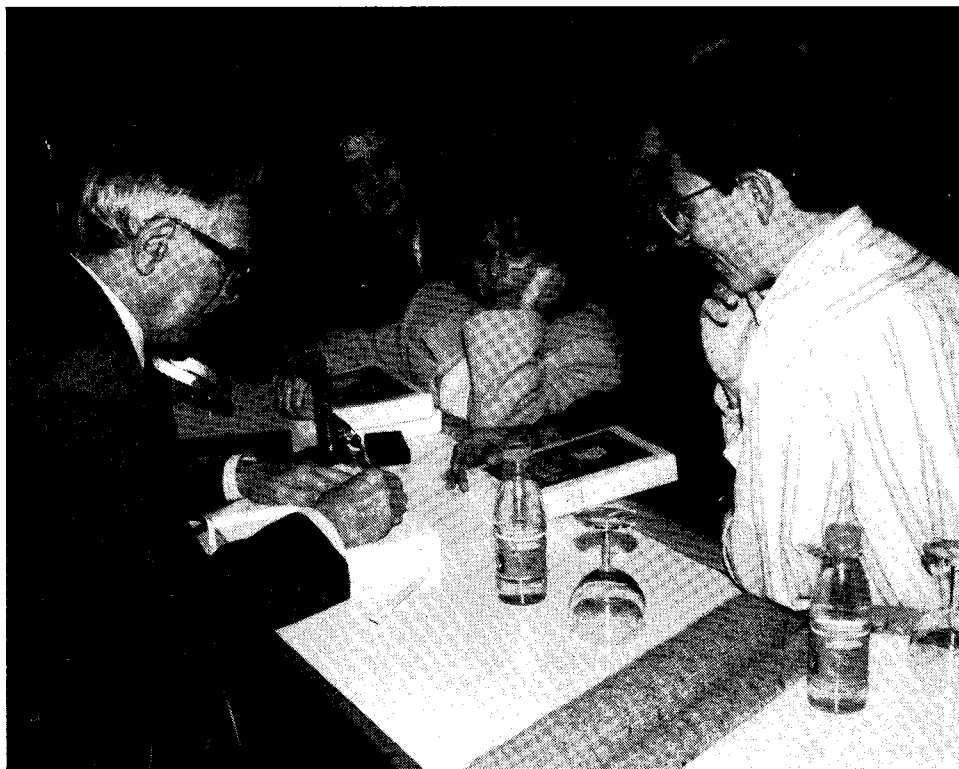


Figura 2
Rítmicos mensuales de la probabilidad de día con precipitación (π_1)
y de la probabilidad de día con precipitación después de día con
precipitación (p_{11}) correspondientes a las cuatro capitales catalanas







El dia 20 de desembre de 1990, a l'acte de presentació del llibre del doctor Llobet «El medi i la vida el Montseny», al Museu de Granollers.

Font: Fotg. Espauella. Hemeroteca Municipal, Granollers.